

# Pengaruh Kapasitas Daya Dukung terhadap Letak Fondasi Dangkal Tipe Menerus di Sepanjang Lereng dengan Menggunakan Metode Analitik dan Numerik

**MOHAMAD BADRUDIN, IKHYA**

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung  
Email: badrudin96@gmail.com

## **ABSTRAK**

*Kapasitas daya dukung adalah kemampuan fondasi dalam menahan beban struktur yang berada di atasnya. Analisis fondasi dangkal sepanjang lereng dengan metode numerik menggunakan program PLAXIS 2D menghasilkan bahwa semakin besar nilai kedalaman fondasi ( $D_f$ ) maka akan menaikkan kapasitas daya dukungnya. Nilai kapasitas daya dukung terbesar terdapat pada  $D_f = 2$  m yaitu sebesar  $1.117 \text{ kN/m}^2$  pada lokasi dibawah lereng dengan kondisi tanpa muka air tanah. Lokasi fondasi dangkal sepanjang lereng sangat mempengaruhi nilai kapasitas daya dukung fondasi tersebut. Jika fondasi ditempatkan dekat dengan lereng ataupun pada permukaan lereng, maka nilai kapasitas daya dukungnya akan berkurang. Nilai kapasitas daya dukung pada atas lereng dengan jarak  $b = 0$  m dari tepi lereng sebesar  $527 \text{ kN/m}^2$  dan untuk  $b = 8$  m memiliki nilai kapasitas daya dukung sebesar  $959,5 \text{ kN/m}^2$ , maka kapasitas daya dukungnya mengalami peningkatan sebesar  $82,06\%$ . Kesimpulannya fondasi akan aman ketika ditempatkan sejauh  $4B$  dari tepi lereng.*

**Kata kunci:** kapasitas daya dukung, fondasi dangkal, lereng.

## **ABSTRACT**

*Bearing capacity is the ability of the foundation to hold the load of structures. The analysis of the shallow foundation along the slope by numerical method using the PLAXIS 2D program resulted that the greater depth of the foundation ( $D_f$ ), the greater bearing capacity will occur. Biggest value bearing capacity is  $1,117 \text{ kN/m}^2$  found at  $D_f = 2$  m located on bottom of the slope with no ground water table. The location of a shallow foundation along the slope greatly affects the bearing capacity value of the foundation. If the foundation is placed close from the slope or on the slope surface, the bearing capacity will decrease. Bearing capacity on the top of slope with  $b = 0$  m from the edge of the slope has been value  $527 \text{ kN/m}^2$  and for  $b = 8$  m bearing capacity value is  $959.5 \text{ kN/m}^2$ , so bearing capacity value has increased by  $82.06\%$ . As a result the foundation will be safe if it's placed at  $4B$  from the edge of the slope.*

**Keywords:** bearing capacity, shallow foundation, slope.

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang memiliki banyak pegunungan dan memiliki jumlah penduduk yang setiap tahunnya terus meningkat. Pertumbuhan penduduk di Indonesia mengakibatkan banyaknya kegiatan konstruksi di berbagai daerah. Banyaknya lahan yang sudah digunakan dapat mengakibatkan pemilihan lokasi konstruksi dalam berbagai kondisi umumnya melakukan kegiatan konstruksi di lahan yang berkontur. Kegiatan konstruksi di daerah yang berkontur dapat menjadi permasalahan jika tidak di tangani dengan baik, maka dari itu diperlukannya suatu keahlian khusus untuk melakukan kegiatan konstruksi di lokasi yang berkontur.

Fondasi termasuk bagian struktural dari suatu bangunan yang letaknya berada paling bawah dan berhubungan langsung dengan tanah. Fondasi berfungsi untuk menyalurkan beban dari struktur atas ke lapisan tanah yang di tahan. Beban yang ditahan oleh fondasi biasanya beban berat struktur itu sendiri ataupun beban hidup yang bekerja pada bangunan tersebut. Jenis pemilihan fondasi harus dapat memikul beban dan gaya yang bekerja. Fondasi dibagi menjadi dua jenis fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal tidak memerlukan pekerjaan yang sulit karena tidak perlu melakukan penggalian tanah yang terlalu dalam. Pemilihan fondasi dangkal dipilih karena beban yang ditahan tidak terlalu besar. Selain itu, fondasi yang menahan beban harus mempunyai kapasitas daya dukung yang baik untuk menahan beban yang bekerja sehingga tidak mengalami keruntuhan geser (*shear failure*) dan penurunan (*settlement*) yang diizinkan.

Berdasarkan pemaparan diatas, akan dilakukan suatu analisis jika melakukan kegiatan konstruksi di daerah lereng menggunakan fondasi dangkal tipe menerus dengan metode numerik menggunakan program PLAXIS 2D yang berbasis elemen hingga dan metode analitik untuk diperbandingkan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Daya Dukung Fondasi Dangkal

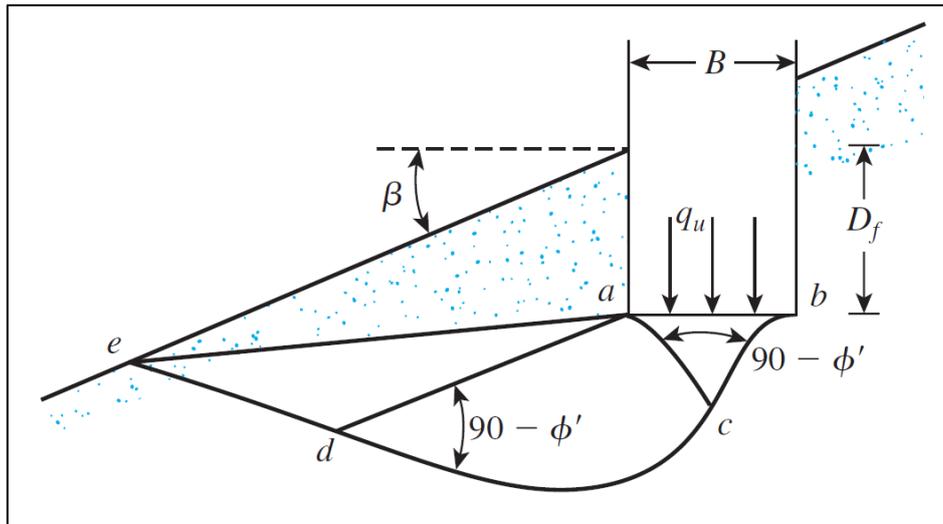
Dalam suatu tahap pembangunan struktur bangunan dibutuhkan data besaran daya dukung fondasi dalam menerima beban. Apabila daya dukung fondasi tidak mampu menerima beban dari struktur yang direncanakan kita dapat melakukan perbaikan tanah agar daya dukung fondasi mencapai nilai yang diinginkan. Untuk mengetahui kapasitas daya dukung fondasi dilakukan beberapa macam penyelidikan tanah terlebih dahulu dan untuk menghitung kapasitas daya dukung fondasi terdapat beberapa macam teori yang dapat digunakan. Namun dalam menghitung kapasitas daya dukung fondasi di lereng berbeda rumusnya dengan menghitung kapasitas daya dukung di tanah yang permukaannya datar.

### 2.2 Kasus Khusus Fondasi Dangkal

Kapasitas daya dukung fondasi dangkal sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yang berasal dari kondisi tanah yang ada di sekitar area dibawah fondasi dan karakteristik fondasi dangkal itu sendiri. Beberapa faktor tersebut dapat menurunkan besarnya nilai daya dukung atau bahkan bisa meningkatkan besarnya nilai daya dukung fondasi dangkal tergantung dari faktor-faktor yang ada dan seberapa besar mempengaruhi kapasitas daya dukung fondasi dangkal.

#### 2.2.1 Kapasitas Daya Dukung Fondasi Dangkal di Muka Lereng (*on a slope*)

Pada tahun 1957, Mayerhof memberikan suatu rumus untuk penyelesaian suatu masalah jika terdapat fondasi dangkal di permukaan lereng (Das, Braja M, 2011). Mayerhof memberikan rumus untuk menghitung kapasitas daya dukung di permukaan lereng. Zona plastis dibawah fondasi dangkal tipe menerus di lereng dengan lebar  $B$  yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1. Sifat zona plastis dibawah fondasi dangkal tipe menerus pada muka lereng (Sumber: Das, Braja M, 2011)**

Untuk menghitung kapasitas daya dukung  $q_u$  tersebut Mayerhof mengeluarkan beberapa persamaan. Untuk tanah kohesif yang memiliki  $\phi = 0$  pada **Persamaan 1** dan untuk tanah granular yang memiliki  $c' = 0$  pada **Persamaan 2**.

$$q_u = cN_{cqs} \quad \dots(1)$$

$$q_u = \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma qs} \quad \dots(2)$$

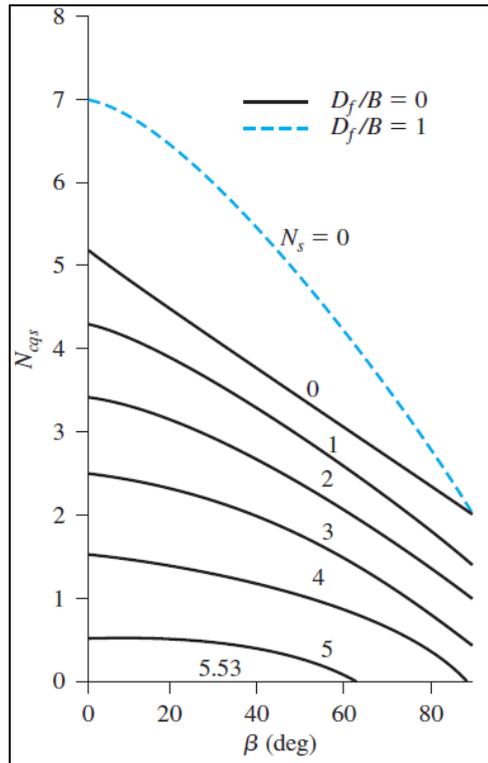
Untuk rumus umumnya dapat digunakan pada **Persamaan 3**.

$$q_u = cN_{cqs} + \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma qs} \quad \dots(3)$$

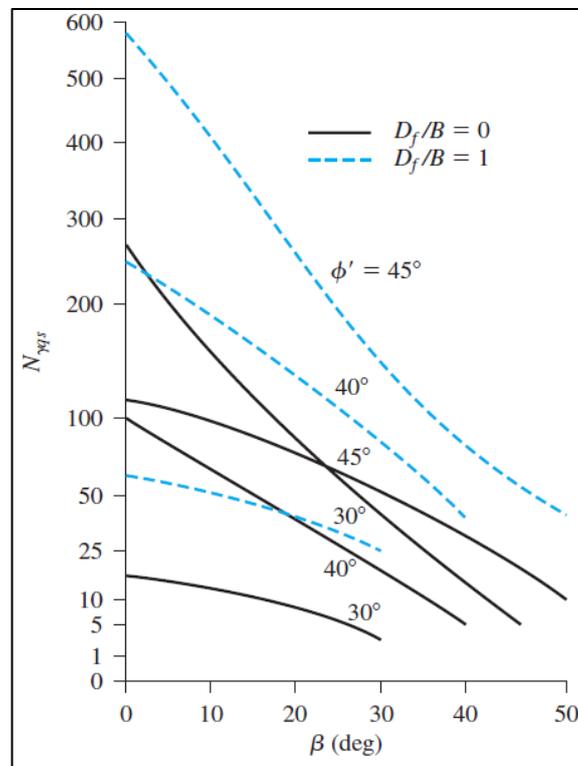
halmana:

- $q_u$  = daya dukung  $\left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}\right]$ ,
- $c$  = kohesi  $\left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right]$ ,
- $B$  = lebar fondasi [m],
- $\gamma$  = berat isi tanah  $\left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right]$ ,
- $N_{cqs}$  = faktor daya dukung  $\left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}\right]$ ,
- $N_{\gamma qs}$  = faktor daya dukung  $\left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}\right]$ .

Untuk mencari nilai  $N_{cqs}$  dan nilai  $N_{\gamma qs}$  dapat dicari dengan membandingkan dengan nilai sudut ( $\beta$ ) dapat diketahui dari grafik yang terdapat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.



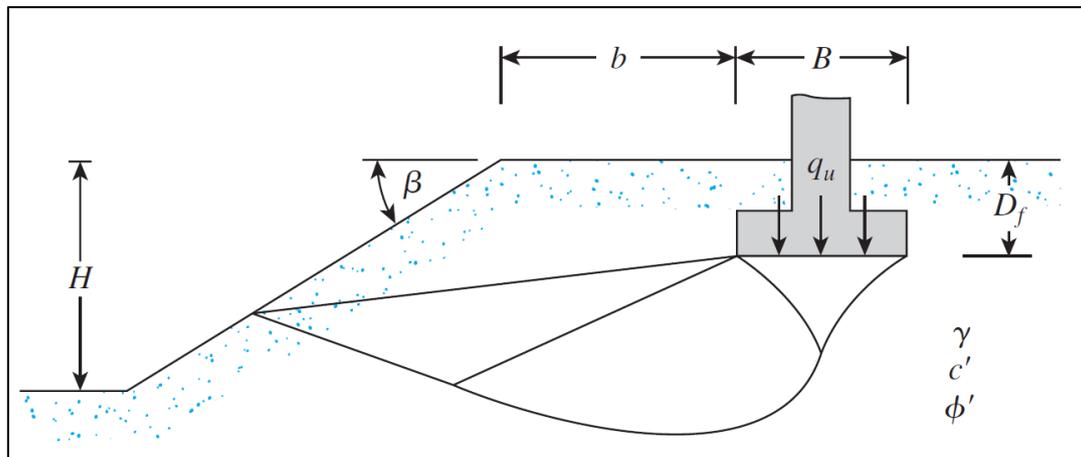
**Gambar 2. Perbandingan nilai  $N_{cqs}$  dengan nilai  $\beta$  (catatan  $N_s = \frac{\gamma H}{c}$ ) (Sumber: Das, Braja M, 2011)**



**Gambar 3. Perbandingan nilai  $N_{\gamma qs}$  dengan nilai  $\beta$  (Sumber: Das, Braja M, 2011)**

### 2.2.2 Kapasitas Daya Dukung Fondasi Dangkal di Atas Lereng (*Top of Slope*)

Dalam beberapa kasus fondasi dangkal perlu di bangun di atas tanah berlereng. Untuk fondasi dangkal yang ditempatkan di atas lereng dapat dilihat pada **Gambar 4**.



**Gambar 4. Fondasi dangkal di atas lereng  
 (Sumber: Das, Braja M, 2011)**

Pada **Gambar 4** tinggi lereng disimbolkan dengan  $H$ , dan sudut disimbolkan dengan  $\beta$ . sedangkan jarak fondasi ke tepi lereng disimbolkan dengan  $b$ . Mayerhof (1957) menemukan persamaan daya dukung fondasi untuk fondasi menerus pada lokasi atas lereng menurut (Das, Braja M, 2011). Untuk tanah granular yang memiliki  $c' = 0$  dapat dilihat pada **Persamaan 4**, sedangkan untuk tanah kohesif yang memiliki  $\phi = 0$  dapat dilihat pada **Persamaan 5**.

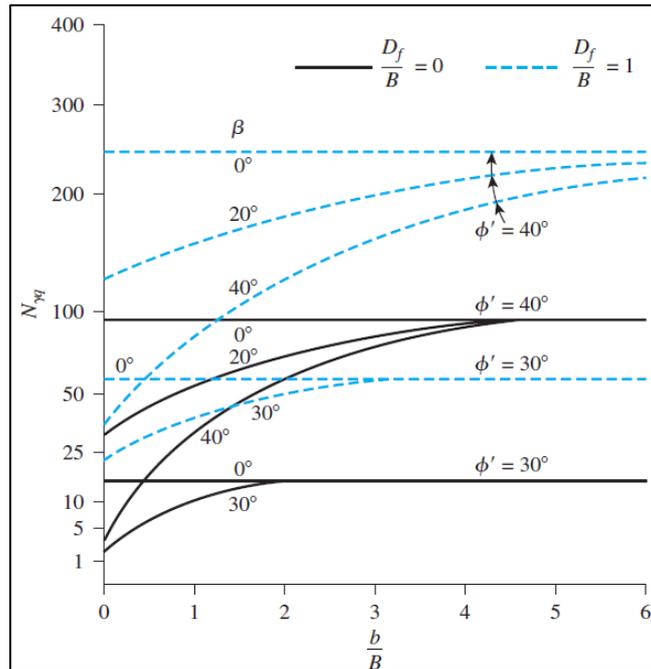
$$q_u = \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma q} \quad \dots(4)$$

$$q_u = c N_{c q} \quad \dots(5)$$

halmana:

- $q_u$  = daya dukung  $\left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$ ,
- $c$  = kohesi  $\left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right]$ ,
- $B$  = lebar fondasi [m],
- $\gamma$  = berat isi tanah  $\left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right]$ ,
- $N_{c q}$  = faktor daya dukung  $\left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$ ,
- $N_{\gamma q}$  = faktor daya dukung  $\left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$ .

Untuk mencari nilai daya dukung  $N_{\gamma q}$ , Mayerhof memberikan grafik yang terdapat pada **Gambar 5** dengan cara mencari jarak tepi fondasi ke tepi lereng dibagi dengan lebar fondasi.

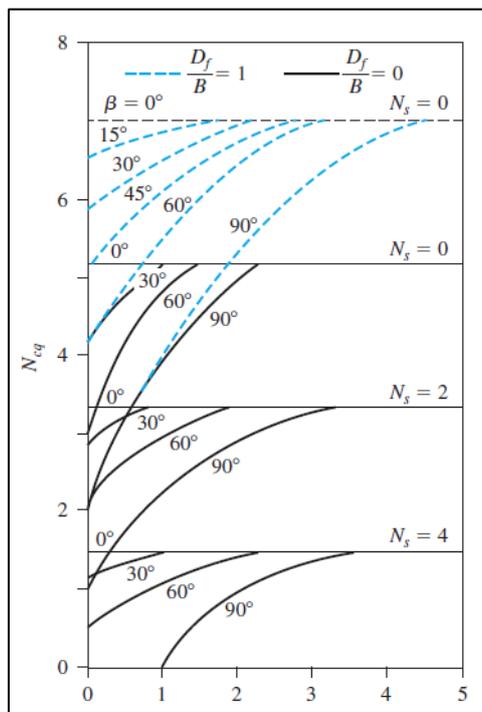


**Gambar 5. Mayerhof daya dukung untuk faktor  $N_{\gamma q}$**   
(Sumber: Das, Braja M, 2011)

Sedangkan untuk mencari nilai  $N_{cq}$  dapat dilihat pada **Gambar 6** namun harus mengetahui nilai  $N_s$  terlebih dahulu dengan **Persamaan 6**.

$$N_s = \gamma H / c$$

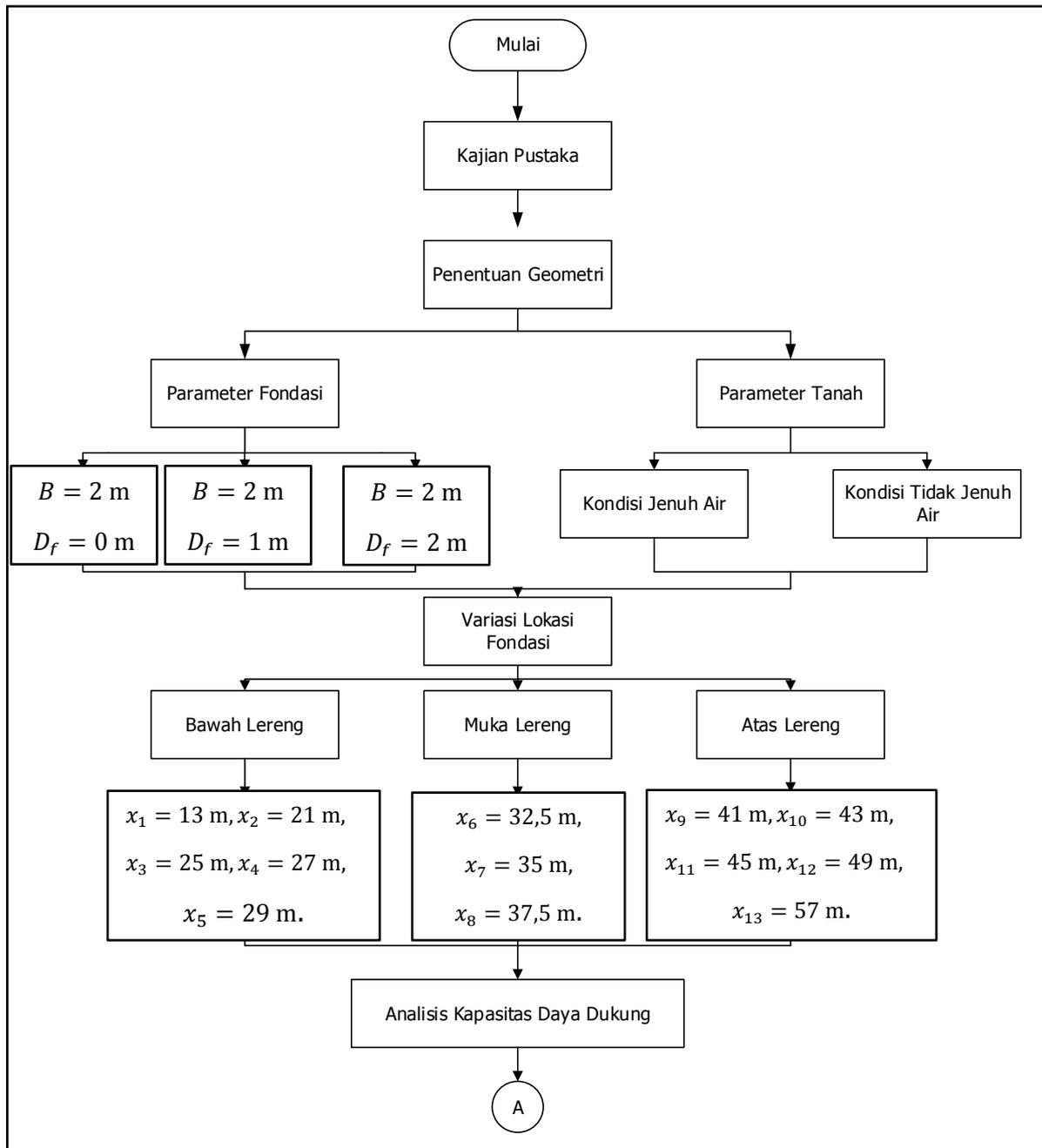
...(6)



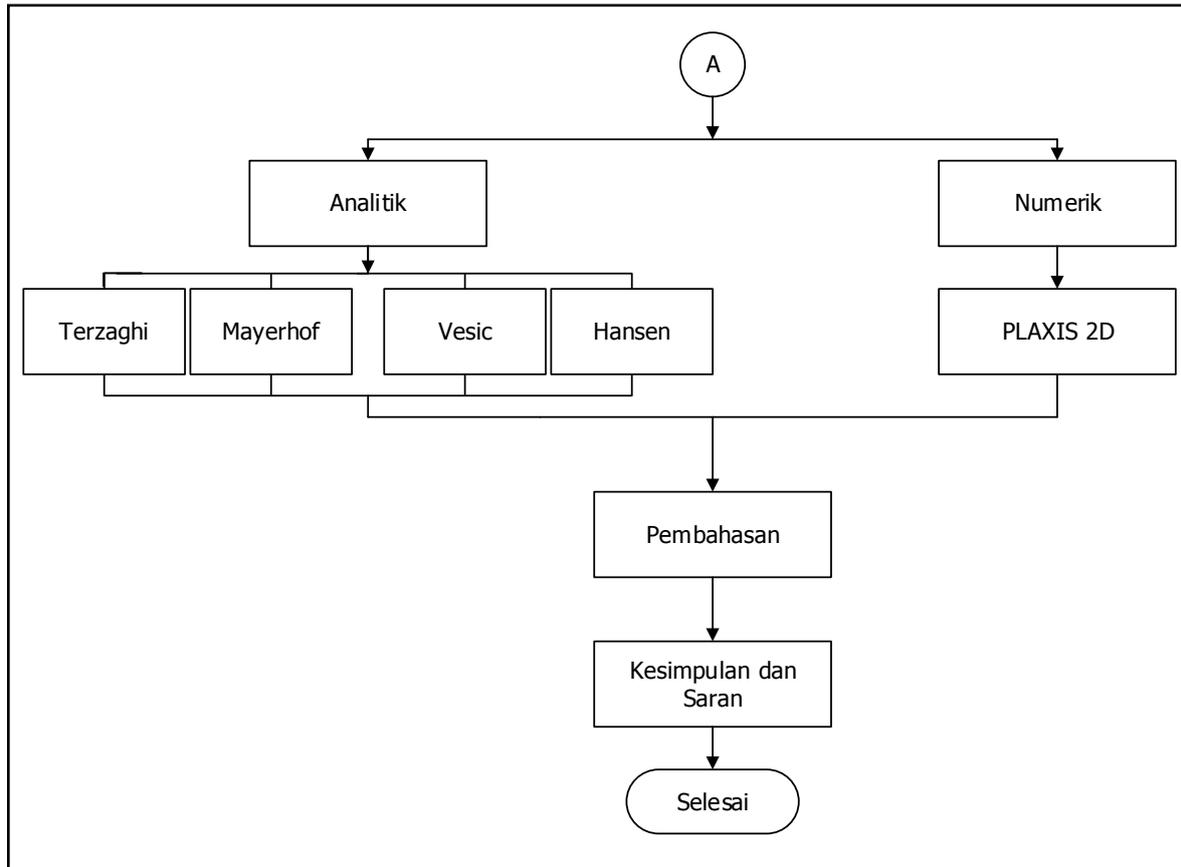
**Gambar 6. Mayerhof daya dukung untuk faktor  $N_{cq}$**   
(Sumber: Das, Braja M, 2011)

### 3. METODE PENELITIAN

Dalam metode penelitian ini dimulai melakukan kajian pustaka tentang apa yang akan dilakukan dalam tugas akhir. Tahap pertama melakukan penentuan geometri termasuk menentukan parameter fondasi dan parameter tanah. Lokasi fondasi sepanjang lereng dibagi menjadi tiga bagian yaitu pada bawah lereng, muka lereng, dan atas lereng. Hasil akhir penelitian ini untuk mengetahui pengaruh letak fondasi di sepanjang lereng dengan cara membandingkan metode numerik menggunakan program PLAXIS 2D dan metode analitik menurut berbagai teori, untuk mempermudah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 7**.



**Gambar 7. Bagan alir penelitian**



**Gambar 7. Bagan alir penelitian lanjutan**

#### 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Parameter Tanah dan Beton Fondasi Dangkal

Jenis Parameter tanah yang digunakan adalah tanah lempung. Penentuan parameter tanah diambil dari rata-rata parameter tanah dari delapan jenis tanah USCS yang diadopsi oleh Krahenbuhl dan Wagner dapat dilihat pada **Tabel 1**. Penentuan parameter tanah ini dilakukan dengan cara asumsi agar pada saat analisis yang dilakukan mengalami keruntuhan geser umum (*general shear failure*).

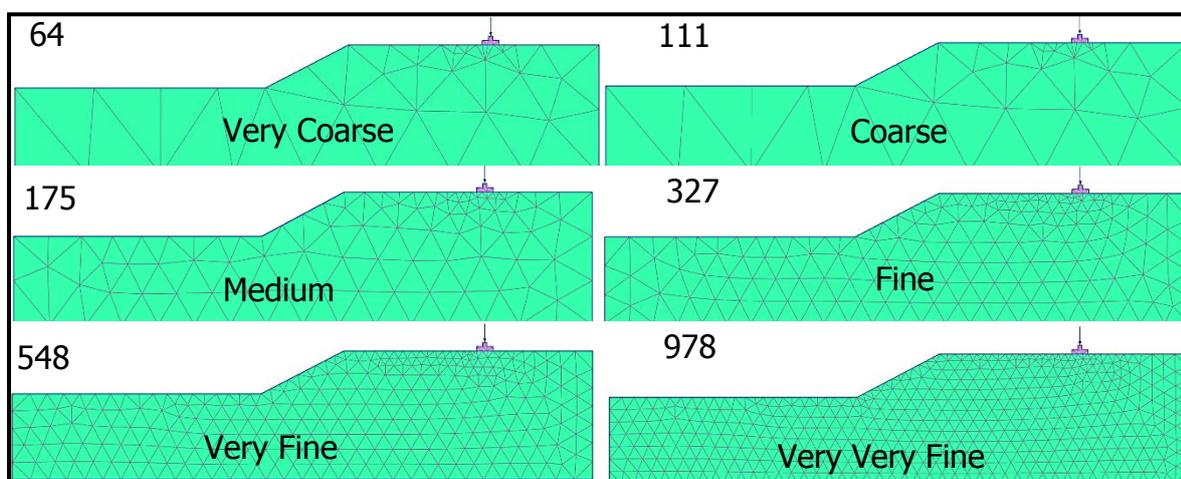
**Tabel 1. Parameter Tanah Lempung dan Beton Fondasi Dangkal**

Parameter	Simbol	Lempung	Beton	Satuan
<i>Material Model</i>	<i>Model</i>	Mohr-Colomb	<i>Linear elastic</i>	-
<i>Type of Behaviour</i>	<i>Type</i>	<i>Drained</i>	<i>Non-porous</i>	-
<i>Weight above phreatic level</i>	$\gamma_{unsat}$	17,5	24	kN/m <sup>3</sup>
<i>Weight below phreatic level</i>	$\gamma_{sat}$	19,5	-	kN/m <sup>3</sup>
Young's Modulus	<i>E</i>	8.500	20.000.000	kN/m <sup>2</sup>
Poisson's ratio	<i>v</i>	0,35	0,15	-
<i>Cohesion</i>	<i>c</i>	25	-	kN/m <sup>3</sup>
<i>Friction angle</i>	$\phi$	22	-	°

#### 4.2 Penentuan Jenis *Mesh*

Jaring-jaring elemen tanah atau disebut *mesh* pada pemodelan dalam PLAXIS 2D berpengaruh terhadap analisis kapasitas daya dukung fondasi dangkal. Tingkat ketelitian pada suatu pemodelan tergantung pemilihan jenis *mesh*. Semakin baik pemilihan *mesh* maka semakin lama untuk mengkalkulasikan suatu pemodelan namun tingkat ketelitian lebih besar. jenis-jenis *mesh* pada PLAXIS 2D terbagi menjadi 5 jenis yaitu *very coarse*, *coarse*, *medium*, *fine* dan *very fine*. Namun selain jenis *mesh* tersebut dapat dilakukan *refine* agar tingkat ketelitian lebih baik lagi atau yang dapat disebut *very very fine*. Perbandingan *mesh* tersebut dapat dilihat pada **Gambar 8**.

Perbedaan jenis *mesh* yang dipilih pada pemodelan berpengaruh terhadap jumlah elemen yang berpengaruh juga terhadap hasil kalkulasi, hasil akhir kalkulasi ini yang dimaksudkan adalah hasil kapasitas daya dukung. Perbandingan jenis *mesh* dan nilai daya dukung dapat dilihat pada **Tabel 2a** dan **Tabel 2b**.



**Gambar 8.** Tampilan jaringan elemen berdasarkan jenis-jenis *mesh*

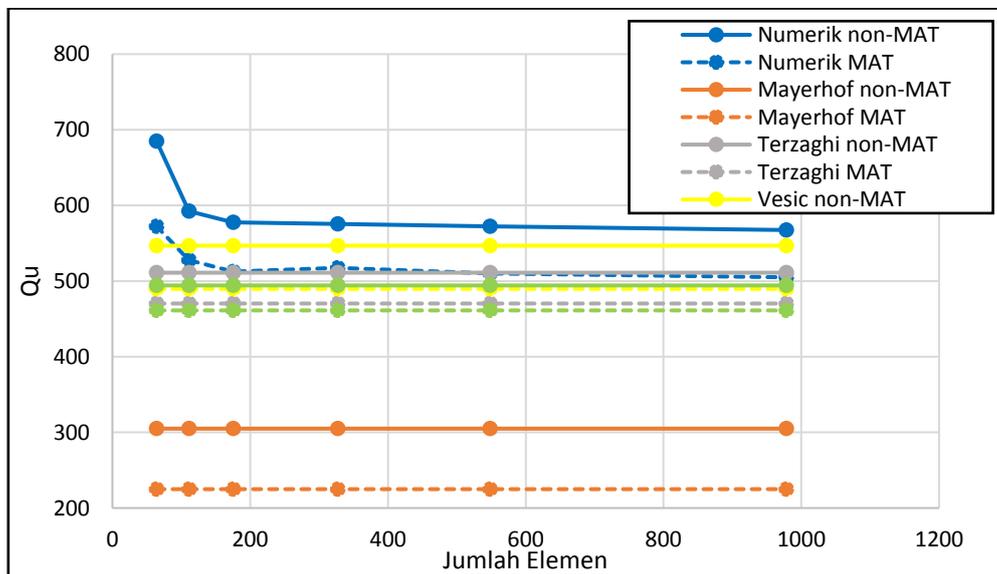
**Tabel 2a.** Tipe *Mesh* dan Nilai Daya Dukung

Tipe <i>Mesh</i>	Jumlah Elemen	$q_u$ [kN/m <sup>2</sup> ] Numerik	
		Non-MAT	MAT
<i>Very Coarse</i>	64	685	572,5
<i>Coarse</i>	111	592,5	527,5
<i>Medium</i>	175	577,5	512,5
<i>Fine</i>	327	575,5	517,5
<i>Very Fine</i>	548	572,5	510
<i>Very Very Fine</i>	978	562,5	495

**Tabel 2b. Teori dan Nilai Daya Dukung**

Teori	$q_u$ [kN/m <sup>2</sup> ] Analitik	
	Non-MAT	MAT
Mayerhof	305	225
Terzaghi	511,08	470,36
Vesic	546,78	489,74
Hansen	494,28	461,24

Pada **Tabel 2a** , **Tabel 2b** dan **Gambar 8** diatas dapat dilihat semakin baik pemilihan jenis *mesh* berpengaruh terhadap nilai daya dukung dikarenakan jumlah elemen pada PLAXIS 2D lebih rapat. Dalam penelitian tugas akhir ini menggunakan tipe *mesh* yang *very very fine* karena tingkat ketelitian yang sangat tinggi. Perbandingan tiap teori dan jenis *mesh* dapat dilihat pada **Gambar 9**.



**Gambar 9. Grafik perbandingan nilai kapasitas daya dukung dengan pengaruh adanya muka air tanah ataupun tidak terhadap jumlah elemen**

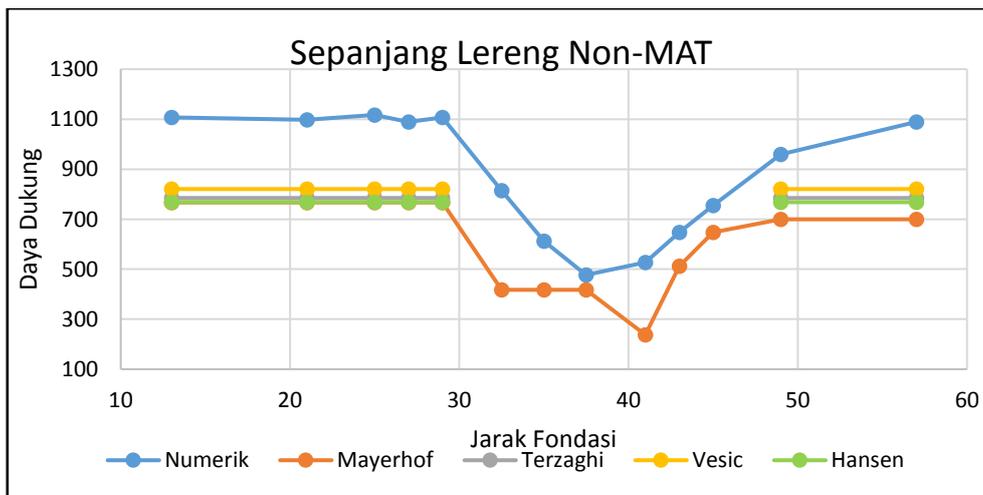
#### 4.3 Analisis Kapasitas Daya Dukung Pada Lereng

Analisis dilakukan dengan dua metode yaitu metode analitik dan metode numerik. Untuk metode analitik menggunakan beberapa teori Mayerhof, Terzaghi, Vesic dan Hansen. Sedangkan untuk metode numerik akan dilakukan menggunakan PLAXIS 2D. Perhitungan akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah membandingkan perbedaan analisis kapasitas daya dukung tersebut.

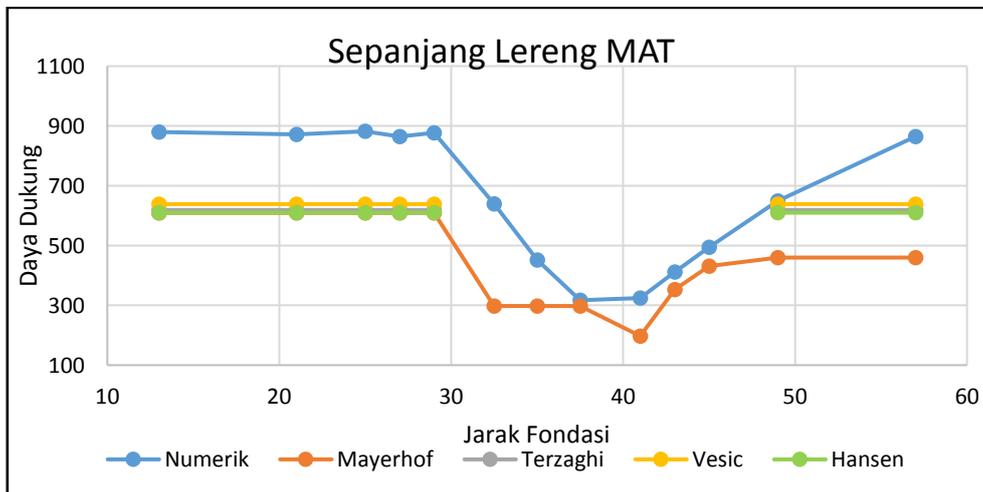
Untuk variasi terdapat beberapa variasi diantaranya lokasi fondasi, kondisi tanah, dan kedalaman fondasi. Untuk variasi lokasi fondasi dibagi menjadi tiga macam yaitu *bottom of slope*, *on a slope*, dan *top of a slope*. Kondisi tanah disini dibagi lagi menjadi kondisi jenuh air dan kondisi tidak jenuh air. Sedangkan untuk kedalaman fondasi dangkal terdapat dalam kondisi kedalaman fondasi ( $D_f$ ) = 0 m, 1 m, dan 2 m.

#### 4.4 Analisis dan Pembahasan ( $D_f=2\text{ m}$ )

Pada analisis berikut ini akan disajikan kasus khusus untuk fondasi dangkal dengan kedalaman ( $D_f$ ) = 2 m, dengan kondisi dengan dan tanpanya muka air tanah di berbagai lokasi dengan tiga lokasi yang akan ditinjau pada *bottom of slope*, *on a slope*, dan *top of slope*. Analisis Kapasitas daya dukung fondasi dangkal yang dilakukan memberikan hasil bahwa jika fondasi dangkal di tempatkan diatas lereng dan dekat dengan lereng daya dukungnya akan kecil sedangkan jika ditempatkan jauh dari lereng daya dukungnya akan besar. Untuk muka air tanah juga dapat mempengaruhi daya dukung, daya dukung akan berkurang jika terdapat muka air tanah. Untuk **Gambar 10** dapat dilihat perbandingan kapasitas daya dukung sepanjang lereng non muka air tanah sedangkan untuk kondisi dengan muka air tanah dapat dilihat pada **Gambar 11**.



**Gambar 10. Grafik perbandingan numerik dan analitik sepanjang lereng non-MAT**



**Gambar 11. Grafik perbandingan numerik dan analitik sepanjang lereng MAT**

Menurut hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa hasil metode numerik pada setiap lokasi selalu lebih besar jika dibandingkan dengan metode analitik. Kondisi muka air tanah mempengaruhi kapasitas daya dukung jika terdapat muka air tanah kapasitas daya dukung fondasi tersebut akan berkurang, hal itu dikarenakan menggunakan  $\gamma'$ . Dalam kasus ini fondasi yang sudah tidak terpengaruh lereng terdapat pada jarak 49 m dan 57 m, dan dapat disimpulkan lokasi yang tidak terpengaruh lereng sejauh  $4B$ .

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan sebelumnya maka dapat disimpulkan beberapa perihal sebagai berikut:

1. Jenis *mesh* yang digunakan mempengaruhi terhadap nilai perhitungan permodelan fondasi dangkal dimana semakin rapat *mesh* yang digunakan akan semakin akurat perhitungannya, namun membutuhkan waktu perhitungan yang relatif lebih lama. Oleh karena itu jenis *mesh* yang digunakan pada kasus ini adalah *fine*, *very fine*, dan *very very fine*. Pemilihan jenis *mesh* tersebut cocok digunakan karena perbedaan nilai kapasitas daya dukungnya tidak terlalu beda jauh atau dapat dikatakan sudah signifikan.
2. Kondisi dan letak muka air tanah mempengaruhi bedanya nilai kapasitas daya dukung. Nilai kapasitas daya dukung dengan adanya muka air tanah akan lebih kecil jika dibandingkan dengan tanpa kondisi air tanah. Hasil dari pembahasan sebelumnya menjelaskan bahwa untuk fondasi yang memiliki ( $D_f$ ) = 2 m pada lokasi Top of slope menunjukkan dengan jarak 41 m dari titik  $x=0$ , dengan kondisi tanpa air tanah menunjukkan nilai kapasitas daya dukungnya sebesar 527 kN/m<sup>2</sup>, sedangkan dengan kondisi adanya muka air tanah nilai kapasitas daya dukungnya sebesar 324 kN/m<sup>2</sup>.
3. Kedalaman ( $D_f$ ) fondasi dangkal dapat mempengaruhi kapasitas daya dukung fondasi dangkal tersebut, semakin dalam fondasi dangkalnya akan menaikkan kapasitas daya dukungnya. Hasil pembahasan sebelumnya menjelaskan bahwa untuk fondasi yang memiliki ( $D_f$ ) = 2 m pada lokasi *top of slope* dengan kondisi tanpa muka air tanah dan jarak 41m dari titik  $x=0$  m memiliki nilai kapasitas daya dukung sebesar 527 kN/m<sup>2</sup> sedangkan untuk ( $D_f$ ) = 1 m kapasitas daya dukungnya sebesar 412 kN/m<sup>2</sup>.
4. Penempatan fondasi dangkal dalam penelitian ini terdiri dari 3 (tiga) lokasi diantaranya *bottom of slope*, *on a slope*, dan *top of slope*. Lokasi tersebut mempengaruhi beda nilai kapasitas daya dukungnya jika fondasi dangkal di tempatkan pada *on a slope*, maka nilai kapasitas daya dukung akan kecil dibandingkan pada *bottom of slope* maupun *top of slope*.
5. Jarak fondasi mempengaruhi nilai kapasitas daya dukung jika jarak fondasi semakin dekat dengan lereng ataupun jika fondasi terdapat pada lokasi *on a slope* maka nilai kapasitas daya dukungnya akan kecil, sedangkan jika fondasi dangkal ditempatkan jauh dari lereng maka nilai kapasitas daya dukung akan semakin besar. Seperti pada lokasi *on a slope* pada jarak 37,5 m dari  $x=0$  memiliki kapasitas daya dukung sebesar 477 kN/m<sup>2</sup>, sedangkan untuk lokasi *top of slope* pada jarak 57 m dari  $x=0$  memiliki kapasitas daya dukung sebesar 1089,5 kN/m<sup>2</sup>.
6. Fondasi dangkal pada kedalaman ( $D_f$ )=2 m akan memiliki kapasitas daya dukung bagaikan fondasi yang terletak pada tanah datar dengan jarak fondasi sejauh  $4B$  dari tepi atas lereng, sedangkan untuk ( $D_f$ )=0 m dan 1m sejauh  $2B$ .

## DAFTAR RUJUKAN

Das, Braja M. (2011). *Principles of Foundation Engineering*. Stamford: Global Engineering.